

### Phasenschiebendes Wellenfrontüberlagerungsverfahren

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf ein phasenschiebendes Wellenfront-  
überlagerungsverfahren, bei dem die Intensität von zeitlich aufeinander-  
folgend mit jeweiligem Phasenschieben um vorgebbare Phasenschritte  
erzeugten Überlagerungsmustern von Objektwellenfronten und Referenzwellenfronten für einen jeweils vorgebbaren Ortspunkt erfasst und  
10 aus den erfassten Intensitäten eine objektbedingte Phasendifferenz  
zwischen Objekt- und Referenzwellenfront in diesem Ortspunkt ermittelt  
wird.

- Derartige Wellenfrontüberlagerungsverfahren sind beispielsweise unter  
15 Anwendung von Moiré-Techniken und Zweistrahlinterferometer- oder  
Scherinterferometrietechiken gebräuchlich. Ein wichtiges Anwen-  
dungsgebiet betrifft die Vermessung von hochauflösenden optischen  
Abbildungssystemen hinsichtlich Aberrationen, wie z.B. von  
Projektionsobjektiven für Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsan-  
20 lagen zur Halbleiterwaferstrukturierung.

- Typischerweise bestehen die mit solchen Verfahren erzeugten Überlagerungsmuster von Objekt- und Referenzwellenfronten aus einem meist streifenförmigen räumlichen Intensitätsverteilungsmuster, wobei die Intensität durch Phasenschieben periodisch moduliert wird. Die Phase
- 5 wird separat an den einzelnen Ortspunkten aus entsprechenden mathematischen Beziehungen ermittelt. Durch geeignete Wahl der beteiligten Verfahrensparameter, wie Periodenzahl und Schrittzahl, und von sogenannten, als komplexe Zahlen darstellbaren Apodisationsgewichten, die den Einfluss des Intensitätswertes jedes Messschrittes auf die Phase
- 10 am betreffenden Ortspunkt beschreiben, können systematische Fehler, wie Unterabtastung, Oberwellen und Skalierungsfehler eines verwendeten Phasenschiebers im Allgemeinen ausreichend unterdrückt werden. Hochfrequente Vibrationen, die im Messaufbau auftreten können, mitteln sich meist unter Kontrastverlust heraus und sind nur von
- 15 untergeordneter Bedeutung, solange sie deutlich schneller als die Mess- bzw. Belichtungszeit sind. In gleicher Weise sind Drifterscheinungen vernachlässigbar, solange sie deutlich langsamer als die gesamte Mess- bzw. Belichtungszeit sind.
- 20 Herkömmliche Verfahren der eingangs genannten Art einschließlich gängiger zugehöriger Fehlerkorrekturmethode sind z.B. in dem Lehrbuch D. Malacara, Optical Shop Testing, 2. Auflage, John Wiley & Sons, Inc., 1992 und in der dort zitierten Literatur beschrieben, worauf für weitere Details verwiesen werden kann, siehe insbesondere die Kapitel
- 25 über Moirétechniken und phasenschiebende Interferometrie, wie Kapitel 14 mit der Überschrift „Phase Shifting Interferometry“.

- Im Gegensatz zu hochfrequenten Vibrationen und Drifterscheinungen können stochastische Phasenschrittfehler, die z.B. durch niederfrequenten
- 30 te Vibrationen im Messaufbau oder Regelschwankungen oder Schwingungen aus der Umgebung verursacht werden, die Messgenauigkeit signifikant beeinträchtigen.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung eines phasenschiebenden Wellenfrontüberlagerungsverfahrens der eingangs genannten Art zugrunde, das mit relativ geringem Aufwand eine  
5 vergleichsweise hohe Messgenauigkeit bietet, auch bei Auftreten von stochastischen, in das Messzeitfenster fallenden Phasenschrittfehlern, die z.B. aus niederfrequenten Vibrationen im Messaufbau resultieren.

Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung eines  
10 phasenschiebenden Wellenfrontüberlagerungsverfahrens der eingangs genannten Art, bei dem für die Ermittlung der objektbedingten Phasendifferenz Phasenschrittfehler korrektiv berücksichtigt werden, die in den nacheinander erzeugten Überlagerungsmustern auftreten, wobei die Phasenschrittfehler durch eine räumliche Überlagerungsmusterauswertung  
15 tung ermittelt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren kombiniert auf diese Weise die Technik des zeitlichen Phasenschiebens, die bekanntermaßen eine hohe Auflösung und damit Messgenauigkeit bietet, mit der Technik einer  
20 räumlichen Auswertung der typischerweise streifenförmigen Überlagerungsmuster, wobei die letztgenannte Technik vergleichsweise unempfindlich gegenüber zeitlichen Schwankungen im Zeitfenster der Messzeit ist. Durch die räumliche Überlagerungsmusterauswertung werden eventuelle Phasenschrittfehler des Phasenschiebevorgangs ermittelt,  
25 die dann in der Auswertung des Phasenschiebevorgangs korrektiv berücksichtigt werden. Alternativ oder zusätzlich zu einer Streifenmuster- auswertung kann die Überlagerungsmusterauswertung die Maßnahme beinhalten, gezielte Anfangsphasenvariationen für die Objektwellenfront und/oder die Referenzwellenfront vorzugeben.

30

Das erfindungsgemäße Verfahren ist sowohl als Moirétechnik wie auch als eigentliche Interferometrietechnik im engeren Wortsinn realisierbar,

wobei vorliegend der Einfachheit halber mit dem Begriff „phasenschiebende Interferometrie“ auch die entsprechenden Moirétechniken erfasst sein sollen. Für das erfindungsgemäße Verfahren sind sowohl Techniken mit schrittweisem Phasenschieben als auch Techniken mit  
5 kontinuierlichem Phasenschieben verwendbar.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung werden vorgegebene Phasensprünge in einer eindimensional oder mehrdimensional periodischen Struktur für die Erzeugung der Objektwellenfront oder der Referenzwellenfront bei der Ermittlung der Phasenschrittfehler verwendet.  
10 Durch geeignete Wahl dieser Phasensprünge kann die Streifendichte für die räumliche Überlagerungsmusterauswertung definiert eingestellt werden, um die räumliche Streifenauswertung zu erleichtern und um zu verhindern, dass sehr viele Streifen die Auswertung erschweren.

15

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung beinhaltet die korrektive Phasenschrittfehlerberücksichtigung eine kompensierende Bestimmung von Korrekturbeiträgen zu Apodisationsgewichten im mathematischen Funktionszusammenhang der objektbedingten Phasendifferenz als  
20 Funktion der Überlagerungsmusterintensitäten.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

25 Fig. 1 ein Flussdiagramm eines phasenschiebenden Wellenfrontüberlagerungsverfahrens mit Phasenschrittfehlerkorrektur,

Fig. 2 eine Draufsicht auf ein Lineargitter mit vorgegebenen Phasensprüngen zur Objekt- oder Referenzwellenfronterzeugung beim  
30 Verfahren von Fig. 1,

Fig. 3 eine schematische, ausschnittweise Perspektivansicht eines Interferometerspiegels mit vorgegebenen Phasensprüngen zur Erzeugung von Objekt- oder Referenzwellenfronten beim Verfahren von Fig. 1,

5

Fig. 4 eine ausschnittweise Draufsicht auf ein Parkettgitter mit vorgegebenen Phasensprüngen zur Erzeugung von Objekt- oder Referenzwellenfronten beim Verfahren von Fig. 1 und

10 Fig. 5 eine Ansicht entsprechend Fig. 4 für eine Schachgittervariante.

Das in Fig. 1 schematisch in seinem Ablauf dargestellte Verfahren basiert auf der Überlagerung von Wellenfronten mittels einer phasenschiebenden Interferometrie- oder Moirémesstechnik unter Bildung  
15 eines entsprechenden Überlagerungsmusters, vorliegend auch als Interferogramm bezeichnet. Die interferierenden Wellenfronten können z.B. in einem Interferometer oder durch Beugung an Moirégitterstrukturen erzeugt werden. Das Verfahren lässt sich insbesondere zur hochpräzisen Vermessung von hochauflösenden Abbildungssystemen  
20 hinsichtlich Abbildungsfehlern einsetzen, wie Aberrationen oder Verzeichnungsfehler. Speziell ist das Verfahren zur hochgenauen Abbildungsfehlerbestimmung bei hochauflösenden Projektionsobjektiven in mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlagen einsetzbar, wozu entsprechende Vorrichtungen im Stand der Technik bekannt sind und  
25 daher hier keiner weiteren Erläuterung bedürfen, siehe z.B. auf Scherinterferometrie basierende Vermessungsvorrichtungen, wie sie in der Offenlegungsschrift DE 101 09 929 A1 und der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung 102 17 242.0 der Anmelderin offenbart sind. Bei derartigen Vermessungsvorrichtungen fungiert das zu  
30 vermessende optische Abbildungssystem als Objekt, so dass die von ihm gelieferte Objektwellenfront die Abbildungsfehlerinformation trägt, die dann nach Überlagerung der Objektwellenfront mit der Referenz-

wellenfront aus dem Überlagerungsmuster als objektbedingte Phasendifferenzinformation extrahiert werden kann.

Wie üblich, wird bei phasenschiebenden Wellenfrontüberlagerungsverfahren die Intensität  $I_n$  eines Interferogramms für einen jeweiligen Phasenschritt  $n$  durch ein Phasenschiebeinkrement  $\phi_n = 2\pi np/N$  periodisch moduliert, mit den Parametern Periodenzahl  $p$  und Schrittzahl  $N$ . Die Phase  $\phi$  wird separat an jedem einzelnen Ortspunkt aus einer geeigneten mathematischen Beziehung ermittelt, die sich üblicherweise auf eine Gleichung der Form

$$\phi = \arg \sum_{n=1}^N \omega_n I_n$$

zurückführen lässt, mit sogenannten Apodisationsgewichten  $\omega_n$ , die komplexe Zahlen darstellen. Durch geeignete Wahl der Parameter Periodenzahl  $p$  und Schrittzahl  $N$  sowie der komplexen Apodisationsgewichte  $\omega_n$  lassen sich systematische Fehler, wie Unterabtastung, Oberwellen und Skalierungsfehler eines in der zugehörigen Vorrichtung verwendeten Phasenschiebers ausreichend unterdrücken. Des weiteren sind hochfrequente Vibrationen, die deutlich schneller als die Belichtungszeit, d.h. die Messzeit, sind, sowie Drifterscheinungen, die deutlich langsamer als die gesamte Messzeit sind, vernachlässigbar. Hingegen wird die Messgenauigkeit erheblich durch stochastische Phasenschrittfehler  $\delta\phi_n$ , beeinflusst, wie sie im Messaufbau z.B. von niederfrequenten Vibrationen oder Regelschwankungen oder Kopplungen mit einer unruhigen Umgebung verursacht werden.

Das in Fig. 1 gezeigte Verfahren dient dazu, derartige Phasenschrittfehler  $\delta\phi_n$  zu erfassen und korrektiv bei der Ermittlung der objektbedingten Phasendifferenz zu berücksichtigen. Im Anwendungsfall der Vermessung optischer Abbildungssysteme kann auf diese Weise erreicht werden, dass der Einfluss solcher Phasenschrittfehler  $\delta\phi_n$  auf

die durch Auswertung der objektbedingten Phasendifferenz zu gewinnende Abbildungsfehlerinformation ganz oder jedenfalls teilweise kompensiert wird.

- 5 In einem ersten Verfahrensschritt 1 werden die Interferogrammintensitäten  $I_n$  und die Phasenschrittfehler  $\delta\phi_n$  erfasst. An die Genauigkeit der Erfassung der Phasenschrittfehler  $\delta\phi_n$  brauchen keine so hohen Anforderungen gestellt werden wie an die Bestimmung der eigentlichen Phase  $\phi$ , da sich die Fehler ausreichend schwach in der Auswertung der
- 10 Anfangsphase fortpflanzen.

Es genügt daher für die Phasenschrittfehlererfassung die Phase im Interferogramm aus dem Überlagerungsmuster, typischerweise einem entsprechenden Streifenmuster, räumlich zu ermitteln. Dies kann z.B.

15 nach der bekannten Vierschrittformel erfolgen, indem in der obigen Gleichung statt des Phasenschrittindex ein Index  $n'$  der Ortskoordinate des  $p/N$ -ten Bruchteils eines Streifens (oder anderen Merkmals des räumlichen Überlagerungsmusters) verwendet wird und z.B. die Periodenzahl  $p = 1$  und die Schrittzahl  $N = 4$  mit komplexen Apodisations-

20 gewichten  $\omega_{n'} = i^{n'}$  gewählt werden, d.h. der Index  $n'$  bezieht sich auf räumliche Phasenvariation (Streifenmuster) und der Index  $n$  bezieht sich auf zeitliche Phasenvariation (Phasenschieben). Die Differenz der  $n$ -ten Phase aus dem Überlagerungsmuster zum erwarteten  $n$ -ten Phasenschub ergibt den gesuchten Phasenschrittfehler  $\delta\phi_n$ .

25

Diese Differenz ist an mindestens einem Ortspunkt im Überlagerungsmuster zu ermitteln. Im Fall von Verkipptungen im Interferogramm werden mehrere Ortspunkt-Stützstellen benötigt. Idealerweise wird ein linearer Verlauf erwartet, der durch lineare Regression über das

30 Gesamtfeld des Überlagerungsmusters ermittelt wird. Wenn nichtlineare Verläufe erwartet werden, z.B. durch Aberrationen im zu vermessenden

optischen Abbildungssystem, werden diese durch eine geeignet angepasste Regression ermittelt.

In manchen Anwendungsfällen kann es sein, dass im Überlagerungs-  
5 muster viele Streifen auftreten könnten, welche die eigentliche  
Messaufgabe stören, oder dass die Streifendichte für die räumliche  
Auswertung nicht genau genug eingestellt werden kann. In solchen  
Fällen beinhaltet das Verfahren die Verwendung von periodischen  
Strukturen zur Objekt- und/oder Referenzwellenfronterzeugung, die  
10 definierte Phasensprünge an mindestens einem Ortspunkt im Feld des  
Überlagerungsmusters aufweisen. In den Fig. 2 bis 4 sind beispielhaft  
Realisierungsmöglichkeiten für solche periodischen Strukturen mit  
definierten  $\pi/2$ -Phasensprüngen dargestellt. Andere vordefinierte  
Phasensprünge sind auch möglich, z.B. Bruchteile einer ganzzahligen  
15 Periode  $2\pi \cdot p'/N'$  (mit Periodenzahl  $p'$  und Schrittzahl  $N'$ ).

Fig. 2 zeigt ein Beugungsgitter in Form eines eindimensional  
periodischen Liniengitters 4, wobei der Begriff „eindimensional“ bedeu-  
tet, dass Gitterlinien, in Fig. 2 durch helle und dunkle Linien symbolisiert,  
20 nur in einer Richtung aufeinanderfolgend angeordnet sind, in Fig. 2 von  
oben nach unten. Ein mittlerer quadratischer Bereich des Liniengitters 4  
ist in vier quadratische Teilbereiche 4a, 4b, 4c, 4d unterteilt, in denen  
das Linienmuster um definierte Phasensprünge gegenüber dem  
umgebenden Linienmuster versetzt ist. Speziell ist im linken unteren  
25 Teilbereich 4b das Linienmuster gegenüber dem unverschobenen  
Linienmuster im linken oberen Teilbereich 4a um  $\pi/2$  nach unten ver-  
setzt. Das Linienmuster im rechten oberen Teilbereich 4d ist um einen  
Phasensprung von  $\pi/2$  gegenüber dem unverschobenen Linienmuster  
im linken oberen Teilbereich 4a nach oben versetzt. Das Linienmuster  
30 im rechten unteren Teilbereich 4c ist um einen Phasensprung von  $\pi/2$   
gegenüber dem Linienmuster im linken unteren Teilbereich 4b nach



unten versetzt und folglich um einen Phasensprung von  $\pi$  gegenüber dem umgebenden äußeren Linienmuster.

Fig. 3 zeigt schematisch einen Interferometerspiegel 5, der in entsprechenden Teilbereichen 5a, 5b, 5c mit Schichtauflagen zur Realisierung jeweiliger  $\pi/2$ -Phasensprünge versehen ist. Speziell bewirkt die in einem linken vorderen Teilbereich 5a gezeigte Schichtauflage einen Phasensprung von  $\pi/2$  gegenüber der unbelegten Spiegelfläche. Die doppelt so dicke Schichtauflage in einem hinteren, rechten Teilbereich 5b bewirkt wiederum einen Phasensprung von  $\pi/2$  gegenüber dem linken vorderen Teilbereich 5a und damit von  $\pi$  gegenüber der unbelegten Spiegelfläche. Die Dicke der Schichtauflage in einem hinteren linken Teilbereich 5c entspricht der dreifachen Dicke der Schichtauflage im vorderen linken Teilbereich 5a und realisiert folglich einen Phasensprung von  $3\pi/2$  bzw.  $-\pi/2$  gegenüber der unbelegten Spiegelfläche. Statt Erhöhungen sind auch Vertiefungen der Schicht möglich. Die Schichten können statt quadratische auch andere Umrisse aufweisen.

Die oben zu den Beispielen der Fig. 2 und 3 beschriebenen  $\pi/2$ -Phasensprünge eignen sich insbesondere für das Vierschrittverfahren. Für andere Verfahrensvarianten lassen sich bei Bedarf in analoger Weise andere, geeignete Phasensprünge realisieren. Die Erzeugung geeigneter Phasensprünge in jeweiligen Teilbereichen einer periodischen Struktur ist auch in mehrdimensional periodischen Strukturen möglich, d.h. in Strukturen, die in mehreren Richtungen periodisch aufeinanderfolgende Strukturelemente aufweisen.

Fig. 4 zeigt als ein derartiges Anwendungsbeispiel ein zweidimensional periodisches Beugungsgitter in Form eines parzellierten Parkettgitters 6. Das Parkettgitter 6 besteht aus zwei Gruppen von parkettartig alternierend angeordneten Quadratbereichen, eine erste Gruppe 7a

- bis 7d mit in Fig. 4 vertikalen Gitterlinien und eine zweite Gruppe 8a bis 8d mit in Fig. 4 horizontalen Gitterlinien. In üblichen Parkettgitterstrukturen sind die Gitterlinien der Parkettquadrate je einer Gruppe unter sich in Phase. Abweichend hiervon sind beim Parkettgitter 6 von Fig. 4
- 5 die Gitterlinien jeder der beiden Gruppen unter sich von einem zum nächsten Parkettquadrat sowohl in horizontaler Richtung als auch in vertikaler Richtung um jeweils einen Phasensprung von  $\pi$  gegeneinander versetzt, wobei die Linienmuster je zweier diagonal aneinandergrenzender Parkettquadrate derselben Gruppe um einen Phasensprung
- 10 von  $\pi/2$  versetzt sind. Mit anderen Worten sind in Fig. 4 die vertikalen Gitterlinien der zugehörigen vier Parkettquadrate 7a bis 7d in dieser Reihenfolge der vier Quadrate 7a bis 7d im Gegenuhrzeigersinn, wie auch im Uhrzeigersinn, um jeweils  $\pi/2$  phasenverschoben, und entsprechendes gilt für die Gitterlinien der vier Parkettquadrate 8a bis 8d mit
- 15 horizontalen Gitterlinien in Gegenuhrzeigersinn- wie auch in Uhrzeigersinn-Reihenfolge. Die Anfangsphasen in den Parkettzellen können auch in anderer Reihenfolge zugeordnet werden. Ebenso können statt  $\pi/2$  andere Phasensprünge gewählt werden.
- 20 Figur 5 zeigt eine Variante mit einem Schachgitter 9 als zweidimensional periodisches Beugungsgitter mit mehreren Parzellen mit versetzten Schachbrettmustern. Wie aus Figur 5 ersichtlich, ist das quadratische Schachgitter 9 in vier quadratische Parzellen unterteilt, die gleiche Schachbrettmuster aufweisen, wobei jedoch die Schachbrettmuster
- 25 definiert versetzt sind, d.h. es ergeben sich für das Schachgitter 9 analog zum Parkettgitter 6 von Figur 4 definierte Anfangsphasen und somit Phasensprünge.

Nachdem solchermaßen die Phasenschrittfehler  $\delta\phi_n$  ermittelt worden

30 sind, werden selbige in einem nächsten Schritt 2 des Verfahrensablaufs gemäß Fig. 1 kompensierend bei der Auswertung der Anfangsphasen berücksichtigt. Dazu werden in einer vorteilhaften Verfahrensrealisierung

die Apodisationsgewichte  $\omega_n$  derart durch additive Korrekturbeiträge  $\delta\omega_n$  modifiziert, dass sich unabhängig davon, welche Anfangsphase vorliegt, die komplexe Fouriersumme nicht ändert. Mit anderen Worten werden die Korrekturbeiträge  $\delta\omega_n$  der Apodisationsgewichte  $\omega_n$  aus der  
 5 folgenden, für alle Intensitätswerte  $I(\phi)$  geltenden Bedingungsgleichung ermittelt:

$$\sum_{n=1}^N (\omega_n + \delta\omega_n) I(\phi_n + \delta\phi_n) = \sum_{n=1}^N \omega_n I(\phi_n) \quad \forall I(\phi)$$

Im einfachsten Fall wird diese Bedingungsgleichung in linearer Störungstheorie approximativ gelöst, was für kleine Phasenschrittfehler  $\delta\phi_n$  ausreicht. Für jeden Oberwellenanteil  $m$  des periodischen Intensitätssignals

$$I(\phi) = \sum_m \left\{ \exp(im\phi) \right\}$$

kompensieren sich die modifizierte Fouriersumme und die gestörte Fouriersumme, d.h. es gilt

$$\sum_{n=1}^N \delta\omega_n \exp(im\phi_n) + im \sum_{n=1}^N \omega_n \delta\phi_n \exp(im\phi_n) = 0 \quad \forall m,$$

woraus sich die Apodisationsgewichts-Korrekturbeiträge  $\delta\omega_n$  in der Form

$$\delta\omega_n = -\frac{i}{N} \sum_{n'=1}^N \omega_{n'} \delta\phi_{n'} \sum_m m \exp(im(\phi_{n'} - \phi_n))$$

ergeben. Wegen der Nyquist-Bedingung  $-N/2p < m \leq N/2p$  bleibt die obige Bestimmungsgleichung für die Apodisationsgewichts-Korrekturbeiträge  $\delta\omega_n$  unterbestimmt. Von der mehrdeutigen Lösung ist vorliegend diejenige angegeben, die im Sinne einer Regularisierung, d.h. dem  
 30 geringsten Fehleraufschaukeln, die Untergruppen von modifizierten Gewichtswerten gleichsetzt. In gleicher Weise ist auch z.B. eine

Gewichtung mit dem Betrag  $|\omega_n|$  möglich. Weiter alternativ können zusätzliche Nebenbedingungen verwendet werden, die aus der Messaufgabe erwachsen, um die Unterbestimmtheit zu reduzieren.

- 5 Nach der Ermittlung der Korrekturbeiträge  $\delta\omega_n$  zu den komplexen Apodisationsgewichten  $\omega_n$  lässt sich dann in einem abschließenden Verfahrensschritt 3 die eigentliche Phase  $\phi$  und damit die objektbedingte Phasendifferenz zwischen Objekt- und Referenzwellenfront für den jeweiligen Ortpunkt aus der zugehörigen Beziehung in Abhängigkeit von
- 10 den modifizierten Apodisationsgewichten und den Interferogramm-Intensitäten bestimmen. Diese Phaseninformation kann dann je nach Bedarf weiterverwendet werden, z.B. im Rahmen einer Vermessung eines optischen Abbildungssystems für eine hochgenaue Bestimmung von Abbildungsfehlern, wie Verzeichnung und anderen Aberrationen.
- 15 Dazu werden sukzessive die für das phasenschiebende Wellenfrontüberlagerungsverfahren benötigten, zeitlich aufeinanderfolgenden Phasenschiebungen zwischen Objekt- und Referenzwellenfront vorgenommen, z.B. gemäß einem der herkömmlichen Mehrschrittverfahren der phasenschiebenden Interferometrietechnik (PSI).

20

- Wie die obige Beschreibung eines vorteilhaften Ausführungsbeispiels deutlich macht, kombiniert das erfindungsgemäße Verfahren die Technik der zeitlichen Phasenschiebung, die eine vergleichsweise hohe Auflösung bietet, mit einer räumlichen Überlagerungsmusterauswertung,
- 25 die vergleichsweise unempfindlich gegenüber Schwankungen innerhalb typischer Messdauern ist. Über die räumliche Überlagerungsmusterauswertung werden Phasenschiebefehler ermittelt, die dann in der Auswertung der Resultate aus den Phasenschiebemessungen korrigiert werden. Die Überlagerungsmusterbildung umfasst sowohl die Möglichkeit
- 30 der Erzeugung typischer Streifenmuster als auch die Verwendung gezielter Anfangsphasenvariationen in einer entsprechenden Objekt- und/oder Referenzstruktur, wie sie z.B. in fortgeschrittenen Parkett-

gitterstrukturen realisiert sind. Die Erfindung umfasst sowohl Verfahren,  
die auf Moirétechniken basieren, als auch solche, die eigentliche  
Interferometrietechniken einsetzen, wie laterale Scherinterferometrie.  
Des weiteren umfasst die Erfindung sowohl Varianten mit schrittweisem  
5 als auch solche mit kontinuierlichem Phasenschieben.

Patentansprüche

1. Phasenschiebendes Wellenfrontüberlagerungsverfahren, insbesondere phasenschiebendes Interferometrieverfahren zur Wellenfrontvermessung von optischen Abbildungssystemen, bei dem
  - die Intensitäten ( $I_n$ ) von zeitlich aufeinanderfolgend mit jeweiligem Phasenschieben um vorgebbare Phasenschritte ( $\phi_n$ ) erzeugten Überlagerungsmustern von Objektwellenfronten und Referenzwellenfronten für einen jeweils vorgebbaren Ortspunkt erfasst werden und aus den erfassten Intensitäten eine objektbedingte Phasendifferenz ( $\phi$ ) zwischen Objektwellenfronten und Referenzwellenfront für den betreffenden Ortspunkt ermittelt wird,
  - wobei Phasenschrittfehler ( $\delta\phi_n$ ) in den nacheinander erzeugten Überlagerungsmustern durch eine räumliche Überlagerungsmusterauswertung ermittelt werden und bei der Ermittlung der objektbedingten Phasendifferenz ( $\phi$ ) korrektiv berücksichtigt werden.
2. Phasenschiebendes Wellenfrontüberlagerungsverfahren nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, dass vorgegebene Phasensprünge in einer eindimensional oder mehrdimensional periodischen Struktur für die Bereitstellung der Objektwellenfronten oder Referenzwellenfronten bei der Ermittlung der Phasenschrittfehler verwendet werden.
3. Phasenschiebendes Wellenfrontüberlagerungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, weiter dadurch gekennzeichnet, dass zur korrektiven Berücksichtigung der Phasenschrittfehler bei der Ermittlung der objektbedingten Phasendifferenz kompensierende Korrekturbeiträge ( $\delta\omega_n$ ) zu Apodisationsgewichten ( $\omega_n$ ) ermittelt werden, die in einer Beziehungsgleichung der objektbedingten

Phasendifferenz als Funktion der Überlagerungsmusterintensität verwendet werden.

-----

### Zusammenfassung

1. Phasenschiebendes Wellenfrontüberlagerungsverfahren.
  - 2.1. Die Erfindung bezieht sich auf ein phasenschiebendes Wellenfrontüberlagerungsverfahren, bei dem die Intensitäten von zeitlich aufeinanderfolgend mit jeweiligem Phasenschieben um vorgebbare Phasenschritte erzeugten Überlagerungsmustern von Objektwellenfronten und Referenzwellenfronten für einen jeweils vorgebbaren Ortspunkt erfasst werden und aus den erfassten Intensitäten eine objektbedingte Phasendifferenz zwischen Objektwellenfront und Referenzwellenfront für den betreffenden Ortspunkt ermittelt wird.
  - 2.2. Erfindungsgemäß werden Phasenschrittfehler in den nacheinander erzeugten Überlagerungsmustern durch eine räumliche Überlagerungsmusterauswertung ermittelt und bei der Ermittlung der objektbedingten Phasendifferenz korrektiv berücksichtigt.
  - 2.3. Verwendung z.B. zur Wellenfrontvermessung optischer Abbildungssysteme durch phasenschiebende Interferometrie zwecks hochgenauer Bestimmung von Abbildungsfehlern.

-----